

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.08.009

穴孔式水稻排种器投种过程分析*

王冲 宋建农 王继承 刘彩玲 武广伟

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 在水稻工厂化穴盘育秧播种过程中,排种器的投种过程是影响播种性能的最后环节,为满足排种器播种性能要求,对投种过程中种子运动规律、投种机理等进行了理论分析。把投种过程分为及时投种、延迟投种和强制投种过程,推导出每个过程中排种器各参数与穴盘运动速度间的关系式,并对投种过程进行了高速摄像分析,验证了理论分析的合理性。建立了型孔长度与排种器相关参数间的限制关系式,分析表明合理选择排种器设计参数,能够保证种子不与型孔另一边壁发生碰撞,实现顺利投种。

关键词: 农业机械 水稻 排种器 穴盘 投种过程 分析

中图分类号: S223.2⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)08-0039-04

Dropping Process of Rice Seed Metering Device with Hole

Wang Chong Song Jiannong Wang Jicheng Liu Cailing Wu Guangwei

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

In the factory rice cell seedling, dropping process of rice seed metering device affects the seeding performance. To meet the requirement of the rice seed metering device, rice seed movement discipline and mechanism in the dropping process were analyzed theoretically. Dropping process was divided three parts: timely dropping process, delayed dropping process, and enforcement dropping process. The relationship between cell tray velocity and the parameters of seed metering device was derived. Dropping process was analyzed based on high-speed photography technology. Analysis of dropping process provided a basis for the establishment of seed metering device design theory and optimal design. The relationship between the type hole length and the parameters of seed metering device was established. Analysis showed that rational parameters of metering device could ensure seed won't have wall-type collision with the other side.

Key words Agricultural machinery, Rice, Metering device, Cell tray, Dropping process, Analysis

引言

水稻工厂化穴盘育秧的重要环节是利用水稻精密播种机进行播种作业。精密播种机的核心部件是排种器,排种器作业质量直接影响播种机播种性能。排种器按照播种原理主要分为机械式、气力式和振动式。因机械式排种器作业性能稳定,价格低廉,已

成为我国市场上使用最广泛的机型^[1]。机械式排种器工作过程分为充种、清种、护种及投种过程,其中投种过程又分为重力投种过程和强制投种过程,投种过程是决定播种质量的最后一道环节^[2-3]。

在水稻工厂化穴盘育秧中,播种机在温室内进行作业,必须保证型孔内的一定数量种子投入到与型孔一一对应的穴盘的穴孔内,这就要求机械式排

收稿日期:2009-10-14 修回日期:2009-12-28

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BDA28B00-05)

作者简介:王冲,博士生,主要从事农业装备工程以及农业机械设计研究, E-mail: Wangchong1983@163.com

通讯作者:宋建农,教授,博士生导师,主要从事农业装备工程以及农业机械设计理论研究, E-mail: songjn@cau.edu.cn

种器能够精确投种。已有文献对玉米、小麦和大豆投种过程分析研究较多,而对水稻穴盘精密排种器投种过程分析研究较少。本文通过对投种过程进行理论分析,研究影响投种的各项参数,为机械式排种器的设计提供参考。

1 排种系统的组成及工作过程

排种系统由刮种器、侧板、种子箱、刷种装置、排种轮、护种装置和穴盘等组成,如图1所示。种子箱内的种子在重力以及种子间的作用力作用下充入排种轮表面的型孔内。当排种轮转动时,带动型孔内的种子运动,分别经过刷种装置、护种装置,靠自身重力落入穴盘的穴孔内;少数没有及时掉入穴孔内的种子由刮种器强制脱落,并依靠自身重力也落入穴孔内。排种轮表面型孔数量与育秧盘内的穴孔数量相同,以保证排种轮上的每个型孔与育秧盘内的穴孔一一对应,每个型孔内一定数量的种子掉入与其对应的穴孔内,达到排种器精密播种的效果。

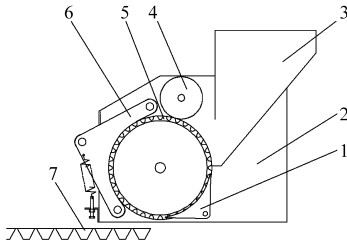


图1 水稻穴盘精密排种系统结构简图

Fig. 1 Structure of metering device system

1. 刮种器 2. 侧板 3. 种子箱 4. 刷种装置 5. 排种轮 6. 护种装置 7. 穴盘

2 投种过程分析

2.1 投种位置分析

根据工厂化穴盘育秧的农艺要求,穴盘中的每个穴孔需有一定数量的种子(常规稻为2~7粒,杂交稻为2~5粒,超级稻为1~3粒),为满足工厂化

穴盘育秧的农艺要求,排种轮的每个型孔内必须保证有一定数量的种子,从而保证与其一一对应的穴孔内的种子数量。

每个型孔内应不少于1粒种子,型孔内的种子受到种子间的作用力和种子与型孔壁间的作用力,受力复杂,不能保证每粒种子都同时完成投种。每个型孔内的种子大体分为3种可能的投种形式:
① 型孔与护种装置完全脱离的瞬间,种子开始脱离型孔边缘,实现投种,定义为及时投种(图2a), β_1 为及时投种角。
② 型孔与护种装置脱离后,种子在刮种器强制脱离投种前实现投种,定义为延迟投种(图2b), β_2 为延迟投种角。
③ 种子运动到垂直位置被刮种器强制脱离,并依靠种子自身重力垂直投种,定义为强制投种(图2c)。

2.2 投种过程理论分析

为提高排种器播种质量,对3种投种情况分别进行运动学分析,研究影响投种精确性的各项参数。

2.2.1 及时投种过程

及时投种过程运动分析如图3所示,水稻种子当量半径很小,其影响忽略不计,种子投出时其运动速度为

$$\begin{cases} v_{x1} = \omega R \cos \beta_1 \\ v_{y1} = \omega R \sin \beta_1 \end{cases} \quad (1)$$

种子在 y 轴运动方程为

$$h_1 = h + R - R \cos \beta_1 = v_{y1} t_1 + \frac{1}{2} g t_1^2 \quad (2)$$

式中 ω ——排种轮角速度

R ——排种轮半径

h ——排种轮最低点与穴盘间垂直距离

h_1 ——及时投种点与穴盘间垂直距离

v_{x1}, v_{y1} ——及时投种过程中种子的水平分速度和垂直分速度

t_1 ——及时投种总时间

由式(1)和式(2)可知

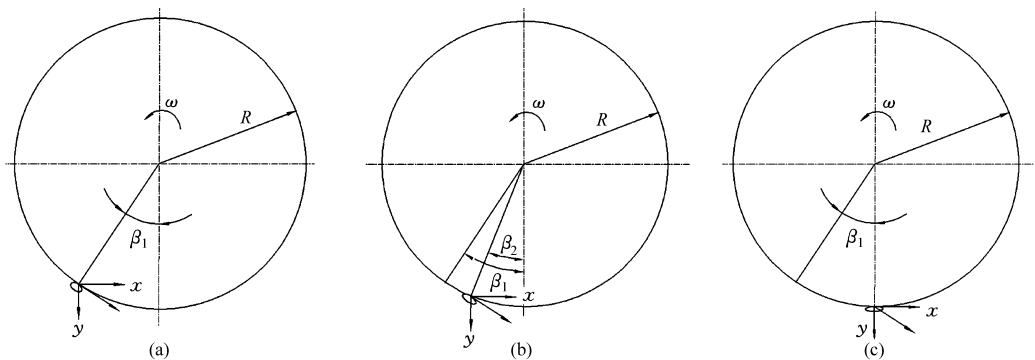


图2 投种过程分析图

Fig. 2 Scheme of dropping process

(a) 及时投种过程 (b) 延迟投种过程 (c) 强制投种过程

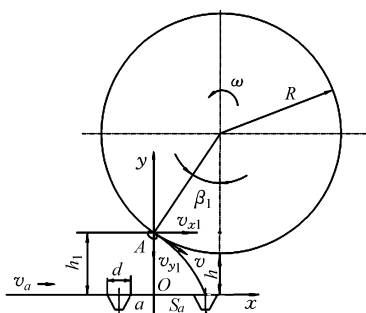


图 3 及时投种过程运动分析

Fig. 3 Scheme of timely dropping process

$$t_1 = \frac{-v_{y1} + \sqrt{v_{y1}^2 + 2g[h - R(1 - \cos\beta_1)]}}{g} \quad (3)$$

则种子在 x 轴投影距离

$$S_a = \frac{-v_{x1}v_{y1} + v_{x1}\sqrt{v_{y1}^2 + 2g[h - R(1 - \cos\beta_1)]}}{g} \quad (4)$$

若能精确投种,当种子运动到 x 轴瞬间恰好落入种子所在型孔对应穴孔内,需满足 $S_a = v_a t_1 - a$, 代入 t_1 得

$$v_a = \frac{\omega R \cos\beta_1 + \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2\beta_1 + 2g[h - R(1 - \cos\beta_1)]} - \omega R \sin\beta_1}{ag} \quad (5)$$

式中 a ——穴孔中心与坐标原点 O 的距离

2.2.2 延迟投种过程

延迟投种过程分析如图 4 所示。从型孔与护种器脱离到顺利投种,种子经历 2 个阶段:① 种子从型孔与护种器脱离到种子与型孔脱离瞬间。② 种子与型孔脱离到顺利投种。

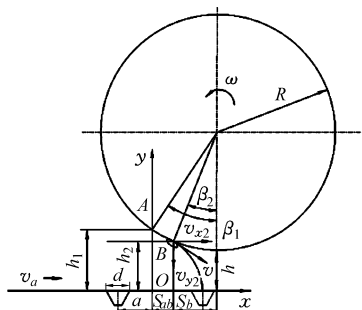


图 4 延迟投种过程运动分析

Fig. 4 Scheme of delayed dropping process

第 1 阶段时间

$$t_{21} = \frac{\pi(\beta_1 - \beta_2)}{180\omega} \quad (6)$$

对水平方向进行运动分析得

$$\begin{cases} v_{x2} = \omega R \cos\beta_2 \\ v_{y2} = \omega R \sin\beta_2 \end{cases} \quad (7)$$

对垂直方向进行运动分析得

$$h_2 = h + R - R \cos\beta_2 = v_{y2} t_{22} + \frac{1}{2} g t_{22}^2 \quad (8)$$

式中 t_{22} ——种子与型孔脱离到顺利投种时间

h_2 ——延迟投种点与穴盘间垂直距离

v_{x2}, v_{y2} ——延迟投种过程中种子的水平分速度和垂直分速度

由式(7)和(8)可得第 2 阶段时间

$$t_{22} = \frac{-v_{y2} + \sqrt{v_{y2}^2 + 2g[h + R(1 - \cos\beta_2)]}}{g} \quad (9)$$

2 个阶段种子水平运动距离为

$$\begin{cases} S_{ab} = R(\sin\beta_1 - \sin\beta_2) \\ S_b = v_{x2} t_{22} \end{cases} \quad (10)$$

式中 S_{ab} ——第 1 阶段种子水平运动距离

S_b ——第 2 阶段种子水平运动距离

若能精确投种,当种子运动到 x 轴瞬间恰好落入种子所在型孔对应的穴孔内,需要满足 $v_a t_2 - a = S_{ab} + S_b$,代入 $t_2 = t_{21} + t_{22}$ 得

$$v_a = \frac{S_{ab} + S_b + a}{t_{21} + t_{22}} \quad (11)$$

$$v_a = \frac{90\omega[2ag + 2gR(\sin\beta_1 - \sin\beta_2) - \omega^2 R^2 \sin^2\beta_2]}{\pi g(\beta_1 - \beta_2) - 180\omega\{\omega R \sin\beta_2 - \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2\beta_2 + 2g[h + R(1 - \cos\beta_2)]}\}} + \frac{2\omega R \cos\beta_2 \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2\beta_2 + 2g[h + R(1 - \cos\beta_2)]}}{\pi g(\beta_1 - \beta_2) - 180\omega\{\omega R \sin\beta_2 - \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2\beta_2 + 2g[h + R(1 - \cos\beta_2)]}\}} \quad (12)$$

2.2.3 强制投种过程

强制投种过程分析如图 5 所示。从型孔与护种器脱离到顺利投种,种子也经历 2 个阶段:① 种子从型孔与护种器脱离到种子与型孔脱离瞬间。② 种子与型孔脱离到顺利投种,该过程为种子作自由落体运动。

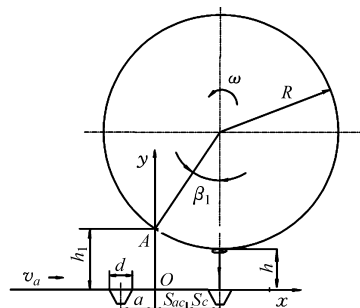


图 5 强制投种过程运动分析

Fig. 5 Scheme of enforcement dropping process

第 1 阶段时间为

$$t_{31} = \frac{\pi\beta_1}{180\omega} \quad (13)$$

对垂直方向进行运动分析得

$$t_{32} = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (14)$$

2 个阶段种子水平运动距离为

$$\begin{cases} S_{ac} = R\sin\beta_1 \\ S_c = 0 \end{cases} \quad (15)$$

式中 t_{31} ——种子从型孔与护种器脱离到种子与型孔脱离时间

S_{ac} ——第 1 阶段种子水平运动距离

t_{32} ——种子与型孔脱离到顺利投种时间

S_c ——第 2 阶段种子水平运动距离

若能精确投种,当种子运动到 x 轴瞬间恰好落入种子所在型孔对应的穴孔内,需要满足 $v_a t_3 - a = S_{ac} + S_c$,代入 $t_3 = t_{31} + t_{32}$ 得

$$v_a = \frac{180\omega R g \sin\beta_1 + 180a\omega g}{\pi g \beta_1 + 180\omega \sqrt{2gh}} \quad (16)$$

2.2.4 种子顺利投种条件

种子顺利投种条件分析如图 6 所示。设型孔长度对应的位置角为 $\theta = L/(R + \delta)$, δ 为排种器型孔

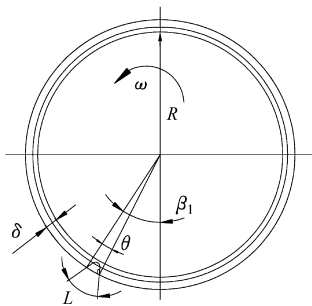


图 6 顺利投种分析图

Fig. 6 Scheme of dropping smoothly

的径向厚度,种子在型孔内部运动到完全脱离型孔外边缘的时间为 t_0 (即为延迟投种的种子在型孔内部运动时间),种子当量半径为 r ,则保证种子在型孔内部运动到完全脱离型孔外边缘内不碰型孔另一边壁的条件为^[4-5]

$$\frac{gt_0^2}{2} + (R + \delta - r)\omega t_0 \sin\beta_1 \geq \delta + 2r \quad (17)$$

其中
$$t_0 = \frac{L \cos\left(\beta_1 - \frac{\theta}{2}\right)}{(R + \delta - r)\omega \cos\beta_1}$$

式(17)为确定型孔长度最小值的依据。型孔内至少 1 粒种子,设计时要求型孔长度大于种子长

度最大值;种子当量半径 r 与排种轮半径 R 相差较大,且延迟投种的种子在型孔内部运动时间 t_0 很短,合理选择排种器参数可以满足验证式(17)成立,保证种子与另一边壁不能发生碰撞。

2.2.5 投种过程的高速摄像分析

对投种过程进行高速摄像观察,验证了 3 种投种过程的存在。在及时投种过程和延迟投种过程中,种子轨迹呈抛物线,延迟投种角 β_2 为 $8^\circ \sim 12^\circ$,98% 以上的型孔其内部的种子是在及时投种过程和延迟投种过程中完成投种,其中绝大多数型孔内的种子是在延迟投种过程进行投种。不足 2% 的型孔其内部的种子通过刮种器强制投种的,种子运动规律表现不明显,有的种子与及时投种过程或延迟投种过程的种子发生碰撞干涉。

取排种轮半径 $R = 110 \text{ mm}$,排种轮最低点与穴盘间垂直距离 $h = 5 \text{ mm}$,及时投种角 $\beta_1 = 15^\circ$,穴孔中心与坐标原点 O 的距离 $a = 0$ 时,代入式(5)、(12)和(16),求得穴盘速度 $v_a \approx \omega R$,当角速度 ω 小于 1 rad/s 时,取 $v_a = \omega R$,投种效果较好。取型孔的径向厚度 $\delta = 10 \text{ mm}$,种子当量半径 $r = 2.1 \text{ mm}$,位置角 $\theta = 10^\circ$,代入式(17)中,完全满足不发生碰壁的条件,种子在型孔内部运动到完全脱离型孔外边缘内没有碰到型孔另一边壁现象的发生,验证了理论分析的正确性。

当角速度大于 1 rad/s 时,延迟投种角 β_2 变小,通过刮种器强制投种的种子数量增多,投种随机性变大,投种效果变差;当速度继续增大至 2 rad/s 时,出现种子碰到型孔另一边壁现象。

3 结论

(1) 通过分析,提出每个型孔内的种子有 3 种可能的投种情况,分别为及时投种、延迟投种和强制投种。

(2) 建立了 3 种投种过程中种子的运动数学模型,推导了排种器各项参数与穴盘运动速度间的关系式,对投种过程进行了高速摄像分析,验证分析的合理性。

(3) 建立了型孔长度与排种器相关参数间的限制关系式,分析表明合理选择排种器参数,保证种子不会与型孔另一边壁发生碰撞,能够顺利投种。

参 考 文 献

- 1 周海波,马旭,姚亚利.水稻秧盘育秧播种技术与装备的研究现状及发展趋势[J].农业工程学报,2008,24(4):301~306.
Zhou Haibo, Ma Xu, Yao Yali. Research advances and prospects in the seeding technology and equipment for tray nursing seedlings of rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(4): 301~306. (in Chinese)

- 3 陈书法,李耀明,孙星钊.花生联合收获机挖掘装置的设计研究[J].中国农机化,2005(1):47~49.
Chen Shufa, Li Yaoming, Sun Xingzhao. Research design on digging parts of peanut combine harvester [J]. Chinese Agriculture Mechanization, 2005(1):47~49. (in Chinese)
- 4 王洪君,闵令强,黄保申,等.4HD-1型花生联合收获机[J].农业机械,2005(6):71.
Wang Hongjun, Min Lingqiang, Huang Baoshen, et al. 4HD-1 peanut combine [J]. Farm Machinery, 2005(6):71. (in Chinese)
- 5 尚书旗,李国莹,杨然兵,等.4HQL-2型全喂入花生联合收获机的研制[J].农业工程学报,2009,25(6):125~129.
Shang Shuqi, Li Guoying, Yang Ranbing, et al. Development of 4HQL-2 type whole-feed peanut combine [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6):125~129. (in Chinese)
- 6 李西振,杨然兵,李建东,等.生姜力学性能试验与分析[J].农机化研究,2008(4):155~157,170.
Li Xizhen, Yang Ranbing, Li Jiandong, et al. Test and analysis of the ginger's mechanics performance [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(4):155~157,170. (in Chinese)
- 7 魏效玲,赵立新,任建华.多指标试验设计综合加权评分值的确定[J].河北建筑科技学院学报,2003,20(4):68~71.
Wei Xiaoling, Zhao Lixin, Ren Jianhua. Determine on synthetically weighted mar value of multiple attribute test [J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 2003, 20(4):68~71. (in Chinese)
- 8 NY/T 502—2002. 中华人民共和国农业行业标准——花生收获机作业质量标准[S]. 2002.
- 9 尚书旗,王延耀,孙振华.机电试验设计学[M].青岛:青岛海洋大学出版社,1997.
- 10 蔡建琼,于惠芳.SPSS统计分析实例精选[M].北京:清华大学出版社,2006.
- 11 胡志超,王海鸥,王建楠,等.4HLB-2型半喂入花生联合收获机试验[J].农业机械学报,2010,41(4):79~84.
Hu Zhichao, Wang Haiou, Wang Jiannan, et al. Experiment on 4HLB-2 type half feed peanut combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):79~84. (in Chinese)

~~~~~

(上接第42页)

- 2 张波屏.现代种植机械工程[M].北京:机械工业出版社,1997.
- 3 刘俊峰,王廷双,冯晓静,等.内充种垂直轮式新型小麦精量排种器的研究[J].农业工程学报,1997,13(4):86~89.  
Liu Junfeng, Wang Tingshuang, Feng Xiaojing, et al. Study on wheat precise seeder meter of the vertical wheel feed of seed cell filling on inside [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1997, 13(4):86~89. (in Chinese)
- 4 李成华,夏建满,何波.倾斜圆盘勺式精密排种器投种过程分析[J].农业机械学报,2005,36(3):48~50.  
Li Chenghua, Xia Jianman, He Bo. Analysis of seed dropping process by declined scope metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3):48~50. (in Chinese)
- 5 于建群,马成林,张格.组合内窝孔精密排种器护种和投种过程分析[J].农业机械学报,2001,32(4):28~30.  
Yu Jianqun, Ma Chenglin, Zhang Ge. Theoretical analysis of seeds retaining and dropping process in precision metering device with concave metering inner cell [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(4):28~30. (in Chinese)
- 6 王在满,罗锡文,黄世醒,等.型孔式水稻排种轮充种过程的高速摄像分析[J].农业机械学报,2009,40(12):56~61.  
Wang Zaiman, Luo Xiwen, Huang Shixing, et al. Rice seeds feeding process in cell wheel based on high-speed photography technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12):56~61. (in Chinese)